

专题论述

特种木本油料作物星油藤的研究进展

蔡志全

(中国科学院西双版纳热带植物园,云南 勐腊 666303)

摘要:特种木本油料作物星油藤原产于南美洲,其种子已被当地人食用了3 000多年,可作为一种营养价值很高的健康食用油。在对星油藤的种质资源和影响栽培的环境因子进行阐述的基础上,重点概述了其种子中两种主要化学成分油脂和蛋白质,具体包括油脂含量和脂肪酸组成、脂质活性成分及降血脂作用、种子蛋白质含量和氨基酸组成等方面的研究现状,并对星油藤的研究和开发利用提出了相应的建议。

关键词:星油藤;种质资源;油脂;蛋白质;栽培

中图分类号:TS222;S727.3 文献标志码:A 文章编号:1003-7969(2011)10-0001-06

Advance in research on a special woody oilseed crop of
Plukenetia volubilis L.

CAI Zhiquan

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences,
Mengla 666303, Yunnan, China)

Abstract: *Plukenetia volubilis* L. (Sacha Inchi) is a special woody oilseed crop used by the local people in South America for over three thousand years, and its seeds can be made into edible oil with high nutritive value. The related germplasm resources of Sacha Inchi and the dominant factors affecting its cultivation were described. The research progress on oil and protein in Sacha Inchi seeds, including oil content and fatty acid composition, protein content and amino acid composition, as well as lipid active ingredients were stated.

Key words: *Plukenetia volubilis* L.; germplasm resources; oil; protein; cultivation

星油藤(*Plukenetia volubilis* L.),又名南美油藤、印加果、印加花生,为大戟科多年生木质藤本植物,原生长在南美洲安第斯山脉的热带雨林中^[1-2]。星油藤最初由印加人变野生为家种,印加语称Sacha Inchi,已被南美印第安土著居民食用了3 000多年^[1]。星油藤当年种植,当年可挂果,2~3年即进入盛产期;一年四季开花、结果,产量较高^[2-3]。星油藤种子的主要成分是油脂、蛋白质、维生素、甾醇等生物活性物质,以及生物碱、皂甙和香豆素等次生代谢物^[4-9]。从星油藤种子中榨取的油(Sacha

Inchi oil),可用于食品、保健品、药品、化妆品等,对调整血脂、预防心血管疾病、保养肌肤等有显著的作用^[10-18]。由于种子产量较高、含油率较高,使得星油藤比其他油料作物具有较大的优势^[1-2]。由于星油藤油组成成分优良、营养品质高,被认为是世界上最好的植物油之一^[8-9]。在2004、2006年和2010年巴黎世界食用油博览会上,星油藤油由于其优良的感官和品质而获得金质奖章,引起了世界油料产品开发商的高度关注^[4-6,18-21]。2006年,星油藤由中国科学院西双版纳热带植物园引种成功,现在云南西双版纳境内有栽培。本文通过查阅相关文献资料,并结合笔者的研究,对星油藤的种质资源、地理分布和栽培、种子脂肪酸、活性物质及种子蛋白质理化性质等进行了概述和分析,为今后开发利用这种具有重要经济价值的特种木本油料作物资源提供

收稿日期:2010-12-29;修回日期:2011-08-05

基金项目:中国科学院优秀青年专项基金(KSCX2EWQ17);
中国科学院院地合作基金

作者简介:蔡志全(1973),男,博士,研究方向为资源植物学
(E-mail) zhiquan. cai@126.com。

参考。

1 星油藤的种质资源及其地理分布

Plukenetia 属中包含着 20 余种植物,主要分布于热带美洲、非洲、马达加斯加和亚洲^[22-27],但在我国没有分布。*Plukenetia* 属植物大多数是缠绕状木质藤本,极少数是蔓生的多年生草本植物,主要生长在热带湿性森林、季节性干性森林或灌木丛^[1-2 25]。星油藤最早在 1753 年命名^[27],主要野生于秘鲁热带森林很多不同的地方,如圣马丁(San Martin)、乌卡亚利(Ucayali)、瓦努科(Huánuco)、亚马逊(Amazonas)、马德雷德迪奥斯(Madre de Dios)、洛雷托(Loreto)等;在拉丁美洲的墨西哥、厄瓜多尔、巴西和玻利维亚等国家也有分布^[22-27]。星油藤是茎攀援状多年生木质藤本,总状花序腋生或与叶对生,雌

雄同株。雄花小,白色,聚生于花序基部;在花序基部侧面生有单个雌花。蒴果成熟时是茶褐色,通常具有 4~7 裂片,1 个裂片包裹 1 粒种子^[22,25]。种子育苗 1 个月后的幼苗在定植后的 6~7 个月即开始开花结实,第 1 年可以获得 700~2 000 kg/hm² 的产量,盛产年份可达 10 年以上^[1-2]。据秘鲁农业部统计,星油藤经自然或人工驯化、选育形成的具有相对遗传稳定性的品种共有 40 余种。不同品种的星油藤间,亚麻酸含量的变化范围为 39.82%~57.22%,而其产量的变化范围为 125~2 050 kg/hm²(见表 1)。不同品种间,亚麻酸的含量与产量呈负相关趋势($r = -0.58$ $P = 0.080$)这是由于不同基因调控过程产生差异所致。

表 1 不同品种星油藤油的脂肪酸含量及星油藤种子产量*

品种	脂肪酸含量/%					产量/(kg/hm ²)
	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	
1	4.94 ^a ± 0.02	1.83 ^a ± 0.01	8.22 ^a ± 0.00	27.80 ^a ± 0.00	57.22 ^a ± 0.02	125
2	5.21 ^{ab} ± 0.10	3.56 ^b ± 0.03	10.05 ^b ± 0.03	37.18 ^b ± 0.09	44.00 ^b ± 0.20	1 350
3	4.82 ^a ± 0.04	3.49 ^{bc} ± 0.02	10.28 ^c ± 0.03	39.29 ^c ± 0.01	42.13 ^c ± 0.01	1 600
4	4.81 ^a ± 0.02	3.68 ^d ± 0.00	10.85 ^d ± 0.01	39.55 ^d ± 0.08	41.12 ^d ± 0.04	2 050
5	4.67 ^a ± 0.07	3.53 ^{bc} ± 0.06	12.40 ^a ± 0.06	37.91 ^e ± 0.07	41.50 ^d ± 0.06	550
6	4.97 ^a ± 0.03	3.46 ^{bce} ± 0.01	10.06 ^b ± 0.01	41.09 ^d ± 0.01	40.43 ^e ± 0.01	600
7	5.69 ^c ± 0.20	3.40 ^{ce} ± 0.01	10.15 ^f ± 0.02	41.94 ^g ± 0.06	39.82 ^d ± 0.18	1 600
8	5.22 ^{ab} ± 0.08	3.80 ^d ± 0.03	9.66 ^g ± 0.00	34.41 ^h ± 0.07	46.91 ^g ± 0.02	220
9	5.31 ^{ab} ± 0.03	3.59 ^b ± 0.01	11.00 ^b ± 0.01	37.82 ^a ± 0.03	42.32 ^e ± 0.04	1 490
10	4.74 ^a ± 0.22	3.05 ^e ± 0.02	10.04 ^a ± 0.03	34.42 ^b ± 0.00	47.91 ^h ± 0.39	1 250

注: * 秘鲁亚马逊研究所 Cachique D 等 2010 未发表数据;数字后的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2 影响星油藤栽培的环境因子

植物种子脂肪的脂肪酸成分主要在种子发育过程中的种子填充阶段合成^[28-29]。在这个阶段,胚乳和胚胎的形态、细胞代谢发生明显变化,伴随着脂肪和蛋白质等储存物质的快速增加^[28-30]。不同的环境条件直接影响着油料作物的生长发育、生理功能及其种子脂肪的脂肪酸和种子蛋白质成分的种类和含量;且脂肪和蛋白质含量的变化模式往往与一些生理、生长发育特性密切相关^[30-33]。星油藤生长迅速,属于强需光性植物,其叶片最大净光合速率极高($> 20 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),与热带先锋树种相近^[1-3 34]。星油藤植物表面受到光线照射越多,越有利于花芽萌发、开花和结果,嫩枝、花以及果实的数量也越多。光照强度低时,植株需要较长的时间完成生长周期;当光线特别阴暗的时候,花的数量会大大减少,产量也会随之急剧降低^[1-3]。最近的研

究表明,生长在高海拔地区的油橄榄和核桃含油率比低海拔的高^[35-37]。星油藤能够适应 70~2 000 m 的海拔高度^[1-2 34],但在约 600 m 海拔高度种子的产量最高。生长季的温度显著影响油料作物种子的含油率及其脂肪酸组成^[32,37-40]。从植物的地理分布和进化角度,自然选择形成的压力使得高纬度地区植物种子中的不饱和脂肪酸含量比低纬度植物的更高^[41];高纬度地区的低温增加油料植物种子中的多元不饱和脂肪酸合成^[35,37,41]。跨纬度的田间试验表明,随纬度降低,温度的增加导致大豆、油菜和向日葵等草本油料植物种子的含油率下降,但对蛋白质积累的影响相对较小^[31,41]。低纬度地区较高的气温加快油料作物种子的生长率,但减少了种子填充持续期的时间^[42-45];种子发育期内依赖于植株光合同化产物的程度降低,因此含油率较低^[31-32]。但具有不同生物学特性的油料作物对纬度梯度的适应

性不同,且不同脂肪酸的变异程度很大^[31-32]。星油藤能够在较大的温度范围内(10~36℃)生长良好^[1-2,34],但过高的温度对其生长非常不利。高温会导致星油藤花和果实凋落,形成小种子^[1-2]。水分胁迫也会缩短油料作物种子填充的持续时间^[46-50]。干旱降低芝麻、油菜和大豆等种子的油含量^[46-48],但对不同脂肪酸成分的影响不同。例如,干旱导致大豆种子的硬脂酸和油酸含量升高,亚油酸含量降低^[39,50];也会大大降低红花籽油中饱和脂肪酸的含量,并降低其含油率^[48]。星油藤具有广泛适应不同类型土壤的特性,在黏土(50%以上的黏土)、沙壤土(60%以上的沙)中生长良好,且能够在高含量铝酸性土壤(pH=4.5~5,铝含量大于70%)中生长旺盛^[1-2,34]。长期干旱和低温是造成星油藤植株生长缓慢的主要原因,但涝灾也会对植株造成伤害或增加病害^[1-2]。在原产地,星油藤能与当地所有的作物间作,如棉花、香蕉、菜豆、玉米、木薯以及森林里的其他物种^[1],并对这些植物的生长没有显著的负面影响。星油藤常见的虫害是玉米根虫(*Diabrotica* spp.)、蟋蟀(*Gryllidae*)、切叶蚁(*Myrmicinae*)等。星油藤植株对镰刀菌(*Fusarium* spp.)和根结线虫(*Meloidogyne* spp.)极其敏感;这两类病虫害对其幼苗和成年植株危害很大,常常造成植株大面积死亡^[1-2],且高含油量的品种更容易感染上根结线虫^[2,34]。因此,在受污染的土壤中栽培

时,需要采取预防措施。

3 星油藤油中脂肪酸成分研究

20 世纪 80 年代,科学家开始对星油藤种子中的化学组成及其生理功效进行研究。星油藤种子含油量为 30%~60%^[4-9],主要由多元不饱和脂肪酸组成,其含量可达 90% 以上(见表 2),明显高于其他油料作物^[9,11]。其多元不饱和脂肪酸以 Omega 脂肪酸为主,要高于大豆、花生、油菜及亚麻等传统油料作物。其中,亚麻酸含量为 45.2%~52.51%^[4-9],要远远高于大豆油和花生油中亚麻酸的含量。亚麻酸具有酯化胆固醇、增加血管弹性、疏导清理心脏血管、调节血细胞功能、促进血液循环、提高人体免疫、消除亚健康等一系列生理功能,尤其对预防肥胖、心血管疾病及脂肪肝等具有重要的生理功能^[10-18,51-54]。因此,星油藤油可以补充人体因长期食用大豆油、花生油导致的亚麻酸摄入不足,适合日常膳食需要。与传统植物油(大豆油等)相比,星油藤油显著降低大鼠血浆甘油三酯和胆固醇的比例,增加肝脏二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)的含量和比例^[52]。食用星油藤油也能够显著降低成年人餐后的甘油三酯,对预防心血管等疾病有显著作用^[53]。对人体血清的抗氧化活性和尿中 8-羟基-2'-脱氧鸟苷(8-OHdG)含量的评价研究表明,星油藤油具有优异的抗氧化活性和抗 DNA 损伤的作用^[53]。

表 2 星油藤种子含油量和油的脂肪酸组成 %

项目	星油藤种子 ^[9]	星油藤种子 ¹	星油藤种子 ²	星油藤种子 ³	星油藤油 ^[4]	星油藤油 ^[7]	星油藤油 ^[8]	星油藤油 ^[53]
含油量	45.2	54	54	56.04				
棕榈酸	3.61	3.85	4.5	3.93	3.79	4.08	4.4	4.24
硬脂酸	2.47	2.54	3.2	2.11	2.65	2.96	2.4	2.5
油酸	9.44	8.28	9.6	8.19	8.77	10.45	9.1	8.41
亚油酸	32.75	36.8	36.8	31.86	33.67	35.34	33.4	34.08
亚麻酸	51.39	48.61	45.2	52.51	50.73	46.92	50.8	50.41

注:1 秘鲁 Emma I. Céspedes 2006 年提供的数据;2 美国康奈尔大学 Hazen DC 和 Stoewsand Y 1980 年分析的未发表数据;
3 农业部农产品质量监督检验测试中心(昆明)检测结果。

4 脂质活性成分的研究

星油藤油中还含有甾醇、多酚和生育酚等多种脂质活性成分,这些化学成分能增加油脂的稳定性和生物活性。多数油脂中甾醇含量为 1~5 g/kg,星油藤油中的甾醇含量也在此范围内,为 2.47 g/kg^[5],其甾醇中含有胆固醇(0.3%)、菜油甾醇(7.1%)、菜油甾烷醇(0.2%)、豆甾醇(27.9%)、β-谷甾醇(56.5%)和 Δ5-燕麦甾醇(5.3%)等 13 种甾体类化合物,其中含量最多的为 β-谷甾醇和豆甾醇^[5,8]。

油脂中的植物甾醇是天然的降胆固醇活性成分。甾类化合物不仅具有较强的抗氧化活性,还具有抗癌、预防心脑血管疾病和抗炎等多种生物活性^[8,55]。

星油藤种子中生育酚总含量为 59.57 mg/100 g,要高于大豆(18.9 mg/100 g)。星油藤油中生育酚总含量可高达 2 000~3 000 mg/kg^[5,7,55],要明显高于菜籽油(687 mg/kg)、大豆油(54.1~237.8 mg/kg)和葵花籽油(671 mg/kg)等植物油^[56]。与菜籽油和大豆油相似,星油藤油中的生育酚以 γ-和 δ-

生育酚为主。星油藤油的氧化稳定性要优于同样富含亚麻酸的亚麻籽油和鱼油,正是归结于其含有较为丰富且抗氧化活性很强的化合物(如甾醇类物质、多酚类化合物和生育酚),但其氧化稳定性比菜籽油、橄榄油、芝麻油、玉米油和葵花籽油要差,这可能是由于其本身含有大量易被氧化的亚麻酸,以及未经精炼导致油中含有水分、磷脂等杂质,导致氧化稳定性较差^[4-5]。

5 种子中的蛋白质研究

星油藤种子富含蛋白质(26%~33%),粗纤维含量约为12.1%,种子蛋白质含量仅次于大豆,种子压榨后的饼粕可做高蛋白食品^[1-2,5,8-9]。种子中的蛋白质由18种氨基酸组成,其中包含了8~9种必需氨基酸^[5,8-9],且各种氨基酸含量比例都比较合适。其中,必需氨基酸含量达到10.6%,总氨基酸含量达到32.56%,而必需氨基酸的含量与总氨基酸含量比达到32.6%,仅次于大豆。其中精氨酸含量最为丰富,高达2.66%左右;其次是亮氨酸、甘氨酸、缬氨酸和脯氨酸,均大于1.3%,其中缬氨酸含量高于大豆蛋白。非必需氨基酸中则以谷氨酸含量最高,达4%左右^[5,9]。与FAO/WHO的能量及蛋白质需要的参考模式相比,星油藤蛋白中的限制性氨基酸为赖氨酸、亮氨酸和异亮氨酸,其他的则均高于参考模式,其中最容易缺乏的赖氨酸含量为4.95%,远远高于亚麻籽蛋白^[5,9]。

从星油藤种子中提取并纯化出一种新型水溶性蛋白,其色氨酸含量非常高(44 mg/g),但苯丙氨酸含量低(9 mg/g),同时水溶性也很好,这种水溶性蛋白占饼质量的25%,占种子中蛋白质质量的31%,因此被称为Sacha Inchi蛋白,或IPA蛋白。该蛋白由2种糖基化多肽组成,相对分子质量约为32 800 Da和34 800 Da。糖的含量约为4.8%,基础蛋白质的pI值(等电点)为9.4,含有各种人体必需的氨基酸^[5,7],为目前首个含有所有人体必需氨基酸的植物蛋白,将应用于功能食品和膳食补充剂领域。

6 建议与展望

星油藤油作为世界上最好的天然植物油之一,具有高的产量和优良的品质,具有很大的市场开发潜力。在原产地秘鲁,为了更好地对星油藤这一重要资源植物开发利用,自2002年至今,开展了Omega项目,相关产品在全世界主要发达国家和地区均有销售,取得了良好的经济效益。星油藤的栽培虽然历史久远,但其栽培、品质形成规律、品种改良等方面的研究刚刚起步。加速星油藤的开发利用建议从以下几个方面入手:

(1) 星油藤核心种质资源库的建立。收集保存、评价和选育具有高产、抗逆等优良性状的新种质,建立种质管理数据库和育种资源保存基地。开展星油藤与同属野生作物的亲缘关系和遗传多样性分析,在对其农艺性状和抗逆能力评价研究的基础上,完成特定抗性材料的挖掘和具有特殊性状遗传材料的选育,为加强和实现星油藤作物种质资源的有效管理及开发利用提供便利的条件和途径。

(2) 星油藤山地高产栽培技术主导因子(纬度、海拔、水肥等)及其机理的研究。从星油藤植株对自然和人工环境的适应性及其机理入手,以高产栽培种植为主要目标,通过不同区域田间系统试验,规划适宜的种植区域,制定规范化高产栽培技术。阐明星油藤的物质生产、分配和代谢物(主要是脂肪酸和蛋白质)的动态协调及其栽培调控原理。通过充分利用我国热带和热带向亚热带地区的荒山资源,推广种植星油藤。

(3) 星油藤碳同化的生化途径、脂肪酸的生物合成和基因工程等方面的研究。利用分子生物学和基因工程手段,提高对星油藤种实的生理代谢,尤其是脂肪酸合成代谢途径及其关键酶基因的认识和利用,以便更有利于种实产量和品质的提高。将常规育种与分子育种技术相结合,进行种质创新,培育出高产量、高含油量以及抗旱、抗寒、耐线虫和镰刀菌的改良品种。根据星油藤油特性,培育出符合特殊用途的品种(如更高亚麻酸含量的品种),为保健品的开发提供优质资源。

(4) 开发适合于星油藤种子的制油工艺和高附加值产品。星油藤油营养价值较高,且稳定性优于其他富含高不饱和脂肪酸的植物油脂(如亚麻籽油),食用安全性高。因此,有必要在保证成熟制油工艺基础上,开发出高营养价值的星油藤油,并加强人们对星油藤油的认识,促进星油藤油的消费。

参考文献:

- [1] SEMINO C A, ROJAS F C, ZAPATA E S. Protocolo del cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) [M]. Peru: La Merced 2008: 1-87.
- [2] MENDOZA N P. Obtención de los ácidos grasos del aceite de la *Plukenetia olubilis* L. "Sacha Inchi" para la utilización en la industria y estudio fitoquímico cualitativo de la almendra [D]. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina 2008: 1-79.
- [3] CAI Z Q. Shade delayed flowering and decreased photosynthesis growth and yield of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants [J]. Industrial Crops and Products, 2011, 34: 1235-1237.

- [4] BONDIOLI P ,DELLA BELLA L ,RETTKE P. Alpha linole-
nic acid rich oils composition of *Plukenetia volubilis* (Sacha
Inchi) oil from Peru [J]. Rivista Italiana Delle Sostanze
Grasse 2006 83: 120 – 123.
- [5] HAMAKER B R ,VALLES C ,GILMAN R ,et al. Amino
acid and fatty acid profiles of the Inca peanut (*Plukenetia
volubilis* L.) [J]. Cereal Chemistry ,1992 69: 461 – 463.
- [6] GUILLEN M D ,RUIZ A ,CABO N ,et al. Characterization
of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spec-
troscopy and ¹H NMR. Comparison with linseed oil [J]. J
Am Oil Chem Soc 2003 80: 755 – 762.
- [7] DO PRADO I M ,ALVAREZ V H ,QUISPE – CONDORI S.
Phase equilibrium measurements of Sacha Inchi oil (*Pluke-
netia volubilis*) and CO₂ at high pressures [J]. J Am Oil
Chem Soc 2011 88: 1263 – 1269.
- [8] GUTIÉRREZ L ,LINA – MARÍA R L ,JIMÉNEZ A. Chemi-
cal composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)
seeds and characteristics of their lipid fraction [J]. Grasas
Y Aceites 2011 62: 76 – 83.
- [9] 蔡志全 杨清 唐寿贤 等. 木本油料作物星油藤种子营
养价值的评价 [J]. 营养学报 2011 33: 193 – 195.
- [10] OH Y ,TALUKDAR S ,EUN J B ,et al. GPR120 is an
Omega – 3 fatty acid receptor mediating potent anti – in-
flammatory and insulin – sensitizing effects [J]. Cell ,
2010 142: 687 – 698.
- [11] PIES J. Sacha Inchi Das Omega – 3 – Öaus der Inka –
Nuss [M]. Erscheinungsdatum: Gewicht ,Vak – Verlag ,
2010: 1 – 171.
- [12] HUAMÁN J ,CHÁVEZ K ,CASTÁEDA E ,et al. Effect of
Plukenetia volubilis Linneo (Sacha Inchi) on postprandial
triglycerides [J]. Anales de la Facultad de Medicina ,
2008 69: 263 – 266.
- [13] JACOBSON T. Role of *n* – 3 fatty acids in the treatment of
hyper triglyceridemia and cardiovascular disease [J].
American Journal of Clinical Nutrition 2008 87: 1981S –
1990S.
- [14] BUESO A ,RODRÍGUEZ – PEREZ R ,RODRÍGUEZ M ,et
al. Occupational allergic rhinoconjunctivitis and bronchial
asthma induced by *Plukenetia volubilis* seeds [J]. Occu-
pational & Environmental Medicine 2010 67: 797 – 798.
- [15] GORRITI A ,ARROYO J ,QUISPE F ,et al. Oral toxicity
at 60 – days of Sacha Inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.)
and linseed (*Linum usitatissimum* L.) and determination
of lethal dose 50 in rodents [J]. Revista Peruana de Medi-
cina Experimental y Salud Pública 2010 27: 352 – 360.
- [16] SIMOPOULOS A P. Omega – 3 fatty acids in health and
disease and in growth and development [J]. American
Journal of Clinical Nutrition 1991 34: 411 – 414.
- [17] LEE H J ,ÓKEEFE H J ,LAVIE J C ,et al. Omega – 3
fatty acids: cardiovascular benefits ,sources and sustain-
ability [J]. Nature Reviews Cardiology 2009 (6) : 753 –
758.
- [18] KIP M C ,SANGIOVANNI P J ,LOFQVIST C ,et al. In-
creased dietary intake of ω – 3 – polyunsaturated fatty
acids reduces pathological retinal angiogenesis [J]. Nature
Medicine 2007 13: 868 – 873.
- [19] PASCUAL C H ,MEJIA L M. Extracción y caracterización
de aceite de Sacha Inchi [J]. Anales Científicos UNALM ,
2000 42: 144 – 158.
- [20] DYER J M ,STYMNE S ,GREEN A G ,et al. High – value
oils from plants [J]. Plant Journal 2008 54: 640 – 655.
- [21] NAPIER A J ,GRAHAM A I. Tailoring plant lipid compo-
sition: designer oilseeds come of age [J]. Current Opinion
in Plant Biology 2010 (3) : 329 – 336.
- [22] AIRY – SHAW H K. The Euphorbiaceae of Sumatra [J].
Kew Bulletin 1981 36: 239 – 374.
- [23] BRACK A. *Plukenetia volubilis* L. Diccionario Enciclopédico
de Plantas Útiles del Perú [M]. Cuzco – Perú: PNUD 1999:
1 – 550.
- [24] BUSSMANN R W ,TÉLLEZ C ,GLENN A. *Plukenetia hua-
yllabambana* sp. nov. (Euphorbiaceae) from the upper
Amazon of Peru [J]. Nordic Journal of Botany 2009 27:
313 – 315.
- [25] CROIZAT L. The tribe Plukenetiinae of the Euphorbiace-
ae in eastern tropical Asia [J]. Journal of the Arnold Ar-
boretum 1941 22: 417 – 431.
- [26] GILLESPIE L J. A revision of Paleotropical *Plukenetia*
(Euphorbiaceae) including two new species from Mada-
gascar [J]. Systematic Botany 2007 32: 780 – 802.
- [27] *Plukenetia volubilis* L. Sp. pl. 1192 1753. [Type: West
Indies. Illustration t. 13 (lower half) in Plumier ,Nov.
pl. amer. 47 1703].
- [28] NORTON G ,HARRIS J F. Compositional changes in de-
veloping rape seed (*Brassica napus* L.) [J]. Planta ,
1975 123: 163 – 174.
- [29] RUUSKA S A ,GIRKE T ,BENNING C ,et al. Contrapuntal
networks of gene expression during Arabidopsis seed filling
[J]. Plant Cell 2002 14: 1191 – 1206.
- [30] HOUSTON N L ,HAJDUCH M ,THELEN J J. Quantitative
proteomics of seed filling in castor: comparison with soy-
bean and rapeseed reveals differences between photosyn-
thetic and nonphotosynthetic seed metabolism [J]. Plant
Physiology 2009 151: 857 – 868.
- [31] HYMOWITZ T ,COLLINS F I ,PANCZER J ,et al. Rela-
tionship between the content of oil ,protein ,and sugar in
soybean seed [J]. Agronomy Journal 1972 64: 613 –
616.
- [32] ROTUNDO J L ,WESTGATE M E. Meta – analysis of en-

- vironmental effects on soybean seed composition [J]. Field Crops Research 2009 ,110: 147 – 156.
- [33] DANESH – SHAHRAKI A ,NADIAN H ,BAKHSHANDEH A ,et al. Optimization of irrigation and nitrogen regimes for rapeseed production under drought stress [J]. Journal of Agronomy 2008 ,7: 321 – 326.
- [34] MANCO E I. Cultivo de Sacha Inchi [M]. Peru: INIEA – SUDIRGEB – EEA 2006: 1 – 11.
- [35] 李国和 杨冬生 胡庭兴. 四川省不同产地核桃脂肪酸含量的变化 [J]. 林业科学 2007 ,43: 36 – 41.
- [36] DABBOU S ,SIFI S ,RJIBA I ,et al. Effect of pedoclimatic conditions on the chemical composition of the Sigoise olive cultivar [J]. Chemistry & Biodiversity ,2010 ,7: 898 – 908.
- [37] ISSAOUI M ,FLAMINI G ,BRAHMI F. Effect of the growing area conditions on differentiation between Chemlali and Chetoui olive oils [J]. Food Chemistry 2010 ,119: 220 – 225.
- [38] DORNBOS D L ,MULLEN R E. Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature [J]. J Am Oil Chem Soc ,1992 ,69: 228 – 231.
- [39] OLIVA M L ,SHANNON J G ,SLEPER D A ,et al. Stability of fatty acid profile in soybean genotypes with modified seed oil composition [J]. Crop Science 2006 ,46: 2069 – 2075.
- [40] WOLF R B ,CAVINS J F ,KLEIMAN R ,et al. Effect of temperature on soybean seed constituents: oil ,protein , moisture fatty acids ,amino acids ,and sugars [J]. J Am Oil Chem Soc ,1982 ,59: 230 – 232.
- [41] LINDER C R. Evolution and adaptive significance of the balance between saturated and unsaturated seed oils in angiosperms [J]. The American Naturalist 2000 ,156: 442 – 458.
- [42] TRIBOÏ E ,TRIBOÏ – BLONDEL A M. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem: invited paper [J]. European Journal of Agronomy , 2002 ,16: 163 – 186.
- [43] EGLI D B. Species differences in seed growth characteristics [J]. Field Crops Research ,1981 ,4: 1 – 12.
- [44] CHIMENTI C A ,Hall A J ,SOL LOÂPEZ M. Embryo – growth rate and duration in sunflower as affected by temperature [J]. Field Crops Research 2001 ,69: 81 – 88.
- [45] JANSEN C R ,MOGENSEN V O ,MORTENSEN G ,et al. Seed glucosinolate ,oil and protein contents of field – grown rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying and evaporative demand [J]. Field Crops Research ,1996 ,47: 93 – 105.
- [46] GHOBADI M ,BAKHSHANDEH M ,FATHI G ,et al. Short and long periods of water stress during different growth stages of canola (*Brassica napus* L.) : effect on yield ,yield components seed oil and protein contents [J]. Journal of Agronomy 2006 ,5: 336 – 341.
- [47] LARIBI B ,BETTAIEB I ,KOUKI K ,et al. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth essential oil and fatty acid composition [J]. Industrial Crops and Products 2009 ,30: 372 – 379.
- [48] ASHRAFI E ,RAZMJOO K. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars [J]. J Am Oil Chem Soc ,2010 ,87: 499 – 506.
- [49] BOYDAK E ,ALPASLAN M ,HAYTA M ,et al. Seed composition of soybeans grown in the Harran region of Turkey as affected by row spacing and irrigation [J]. Journal of Agricultural Food and Chemistry 2002 ,50: 4718 – 4720.
- [50] BABITAA M ,MAHESWARIB M ,RAOA L M ,et al. Osmotic adjustment ,drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids [J]. Environmental and Experimental Botany 2010 ,69: 243 – 249.
- [51] 曾晓飞 董彩燕. 生命的保护神——欧咪伽-3 脂肪酸 [M]. 上海: 上海科学普及出版社 2010: 1 – 136.
- [52] UTSUMI K ,HAGIWARA K ,WATANABE N ,et al. The effects of Sacha Inchi oil on lipid metabolism in rats [J]. Showa Women's University 2008 ,818: 19 – 22.
- [53] FUKUSHIMA M ,TAKEYAMA E ,SHIGA S ,et al. Dietary intake of green nut oil decreases levels of oxidative stress biomarkers [J]. Journal of Lipid Nutrition 2010 ,19: 111 – 119.
- [54] SIMONS S S. What goes on behind closed doors: physiological versus pharmacological steroid hormone actions [J]. Bioessays 2008 ,30: 744 – 56.
- [55] JÁUREGUI A M ,ESCUDERO F R ,ORTIZ – URETA C A ,et al. Evaluation of the content of phytosterols ,phenolic compounds and chemical methods to determine antioxidant activity in Sacha Inchi's seed (*Plukenetia volubilis* L.) [J]. Revista de la Sociedad Química del Perú 2010 ,76: 234 – 241.
- [56] 杨月欣 王光亚 潘兴昌. 中国食物成分表 [M]. 北京: 北京大学医学出版社 2002: 1 – 395.
- [57] SATHE S K ,HAMAKER B R ,CLARA SZE – TAO K W , et al. Isolation purification and biochemical characterization of a novel water soluble protein from Inca peanut (*Plukenetia volubilis* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2002 ,50: 4906 – 4908.